

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Gerth, L.; Grimm, Eberhard

Die Ermittlung von Kupplungskräften bei Tandemverbänden im Seegang

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschifffahrt

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105580>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gerth, L.; Grimm, Eberhard (1987): Die Ermittlung von Kupplungskräften bei Tandemverbänden im Seegang. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschifffahrt 1. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 19-39.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Die Ermittlung von Kupplungskräften bei Tandemverbänden im Seegang

Dipl.-Ing. L. Gerth
Dipl.-Ing. E. Grimm

Sollen Schiffskörper bis zur Einsatzgrenze belastet werden, ist die Kenntnis der Belastungsgrößen erforderlich. Für frei schwimmende Schiffe ist es heute möglich, die Belastungen in den einzelnen Achsen nach dem Seegangsspektrum zu berechnen. Lösungsansätze hierfür sind u. a. in /1/ angegeben. Für gekoppelt schwimmende Systeme sind zweifellos die Kupplungskräfte und deren Ableitung in den Schiffskörper bestimmend für die Einsatzgrenzen. Allgemeine Lösungsansätze für die Bestimmung der Kupplungskräfte liegen nicht vor, so daß vorerst für spezielle Fälle empirische Ermittlungen erforderlich sind. So wurden für Binnenschiffskupplungen im Seegang Untersuchungen von GOLLENBECK /2/ und vom Autor /3/ durchgeführt. Beiden Arbeiten liegt die Finite-Element-Methode für die Festigkeitsberechnung zugrunde. In der weiteren Betrachtungsweise unterscheiden sie sich jedoch deutlich voneinander. GOLLENBECK untersucht einen parallel gekoppelten Modellverband unter definierten Beanspruchungen in einer hydrotechnischen Versuchsanlage. Der Autor ermittelte die Kupplungskräfte an einem realen Tandemverband (in Reihe gekoppelt) im natürlichen, also irregulären Seegang.

Die Untersuchungen wurden für das Küstenfahrtgebiet zwischen Rostock und Wolgast geführt. Sie sind gültig für die Küstenfahrt /4/ mit den Grenzen, die durch die Verbindungslinie

- Leuchtturm Kikut
- Position e Breite $54^{\circ} 50' N$, Länge $13^{\circ} 30' E$
- Position f Breite $54^{\circ} 45' N$, Länge $12^{\circ} 30' E$
- Position g Breite $54^{\circ} 25' N$, Länge $12^{\circ} 00' E$
- Leuchtturm Dameshoved (Neustädter Bucht)

beschrieben wird.

Die Schiffskörper sind für das Fahrtgebiet III/ ECE 1 /5/ mit einer Wellenhöhe $h_{1/13} = 2$ m gebaut und zugelassen. Das Fahrtgebiet III/ ECE 1 ist mit der Küstenfahrt nach /4/ identisch. Der Verband bestand aus:

- Zwei Glattdeckschubprahmen vom Typ GSP 65.1.

Daten

- . Länge 65 m
- . Breite 9,50 m
- . Seitenhöhe 2,40 m
- . Freibord bei Küstenfahrt 570 mm

- Einem Stromschubschiff vom Typ III (für Küstenfahrt ausgerüstet)

Daten

- . Länge 23,65 m
- . Breite 8,20 m
- . Tiefgang 1,10 m
- . Antriebsleistung 2 . 287 kW.

Bild 1 zeigt den Verband. Die Wellenhöhe $H_{1/10} = 2$ m entspricht der Seegangsstärke 6 - sehr grobe See - nach der 9teiligen Seegangsskala /6/. Es wurde vorausgesetzt, daß mit dem Schubverband die Einsatzgrenzen der Einzelfahrzeuge nicht erreicht werden konnten. Als optimistische Zielgröße wurde Seegangsstärke 5, grobe See, mit $H_{1/10} = 1,6$ m erwartet. Dieser Seegang ist in der ausgeprägten Form gekennzeichnet durch:

- Bildung großer (langer) Wellen;
- Schaumkämme, die sich brechen und größere weiße Schaumflächen hinterlassen;
- geringfügige Gischt.

Bei den Messungen wurde diese Seegangsstärke nicht angetroffen. Maximal bestanden Bedingungen der Seegangsstärke 4 (mäßig bewegte See). Das Wellenbild setzte sich aus unendlich vielen Wellen unterschiedlicher Amplituden und Wellenlängen zusammen. Die Richtung der Wellen war in den meisten Fällen unterschiedlich. Dieses Wellenbild ist für das Fahrtgebiet und die Navigationsbeschränkung infolge Seegang typisch, so daß ein Zustand meßtechnisch erfaßt wurde, der bei der Navigation auch tatsächlich angetroffen wird. Ein großer Nachteil dieser Meßmethode besteht jedoch darin, daß der Seegang nur über eine kurze Zeitdauer stabil bleibt und daß bei den Meßfahrten Behinde-

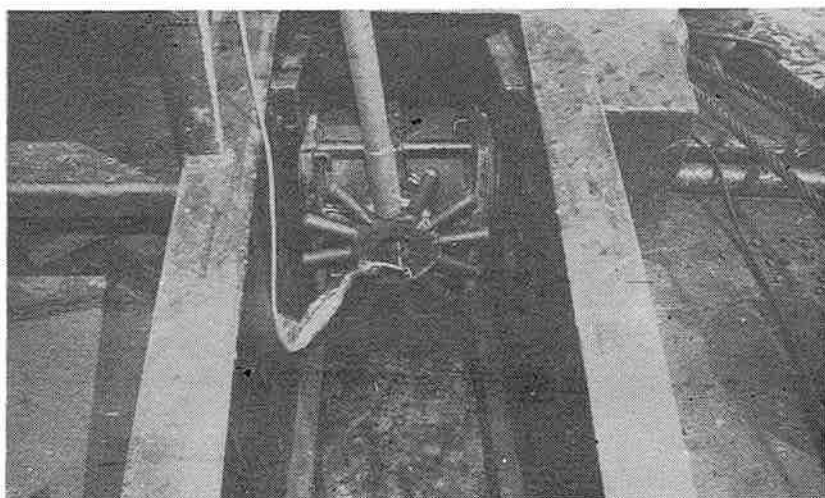
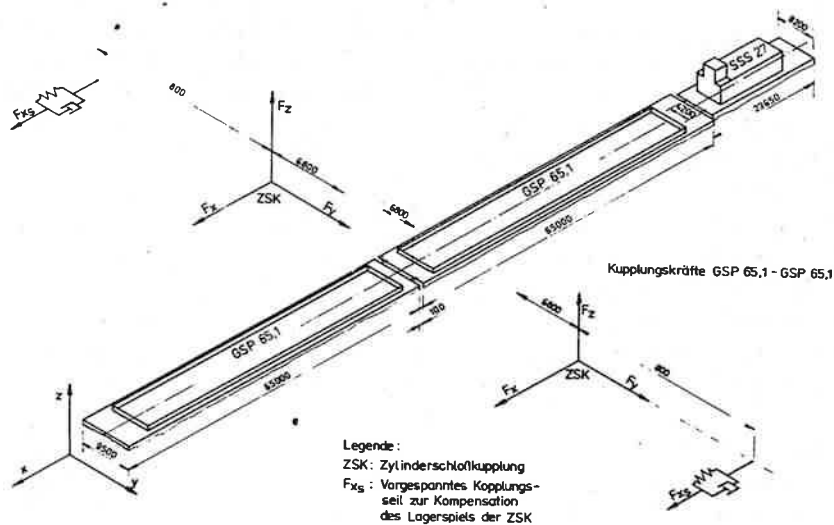


Bild 2 Zylinderschloßkupplung, von Deck aus gesehen

rungen durch den übrigen Schiffsverkehr entstehen. Ein weiterer Nachteil bestand darin, daß die Meßfahrten den Witterungsbedingungen untergeordnet werden mußten, da aus ökonomischen Gründen ein derartiger Verband nicht warten kann, bis ideale Wetterbedingungen für die Messungen vorliegen. Bei Messungen im natürlichen Seegang ist keine Meßfahrt genau reproduzierbar. Das vergrößert die Streubänder bei den Meßwerten. Bei allen Planungen für Messungen gilt deshalb die Feststellung von DÜSTERHOFF und SCHLEICHER /7/: "Kein Meßwert ist richtig und auch nicht ohne Fehler wiederholbar. Mit dieser Tatsache muß man sich auch bei noch so sorgfältig geschaffenen Versuchsbedingungen abfinden". Den genannten Nachteilen steht allerdings der Vorteil gegenüber, daß die Meßwerte am konkreten Bauteil unter realen Bedingungen gewonnen wurden und Zweifel an der richtigen Modellierung ausgeschlossen sind.

An der Kupplung, die keine Momente überträgt, wirken Kräfte in den drei Koordinatenrichtungen X, Y, Z. Sie ist so gebaut, daß die Zugkraft F_x über einen Bolzen (Bild 2), die Druckkraft F_x , die Vertikalkraft F_z und die Querkraft F_y über einen Zylinder übertragen werden. Aus Erprobungsfahrten war bekannt, daß die Großprahme im Seegang nur unbedeutend gegeneinander tauchen und die Zylinderschloßkupplung gewisse Tauchungsunterschiede kompensiert. Damit konnte davon ausgegangen werden, daß die Vertikalkraft F_z wesentlich kleiner als die Zug-/ Druckkraft F_x ist, die im weiteren als Horizontalkraft F_x bezeichnet wird. Die Horizontalkräfte F_x (Zug- und Druckkraft) bilden mit dem Abstand der Zylinderschloßkupplungen voneinander ein Moment. Die Querkraft F_y ist die 1. Ableitung des Moments nach der Balkenachse. Auf Grund der Abmessungen steht somit fest, daß diese Kraft ebenfalls wesentlich kleiner ist als die Horizontalkraft F_x . Eine Bestimmung der Querkräfte aus den Horizontalkräften ist nicht möglich, da die Verteilung der Erregerkräfte am Schiffsrumpf nicht bekannt ist.

Die Messung der Bolzenkraft ist mittels eines mit Dehnmeßstreifen präparierten Bolzens ohne weiteres möglich. Für alle anderen Kräfte gibt es keine direkten Meßmöglichkeiten, weder an Druckzylinder noch am Schiffskörper (Bild 3). Es sei an dieser Stelle noch einmal bemerkt, daß das fertigungsbedingte Spiel der Zylinderschloßkupplung durch drei gespannte Seile, davon zwei in X-Richtung und ein Diagonalseil, kompensiert wurde.

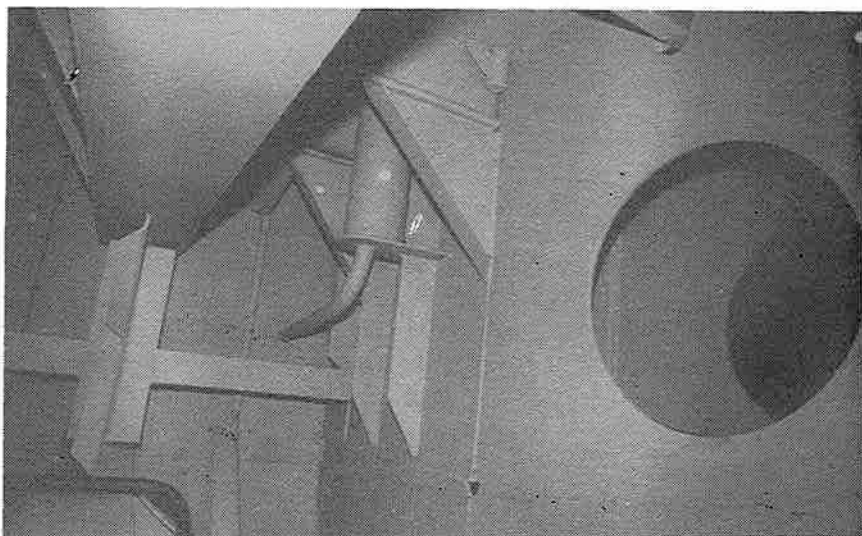


Bild 3 Blick auf Aussteifungen für die Krafteinleitungsstelle

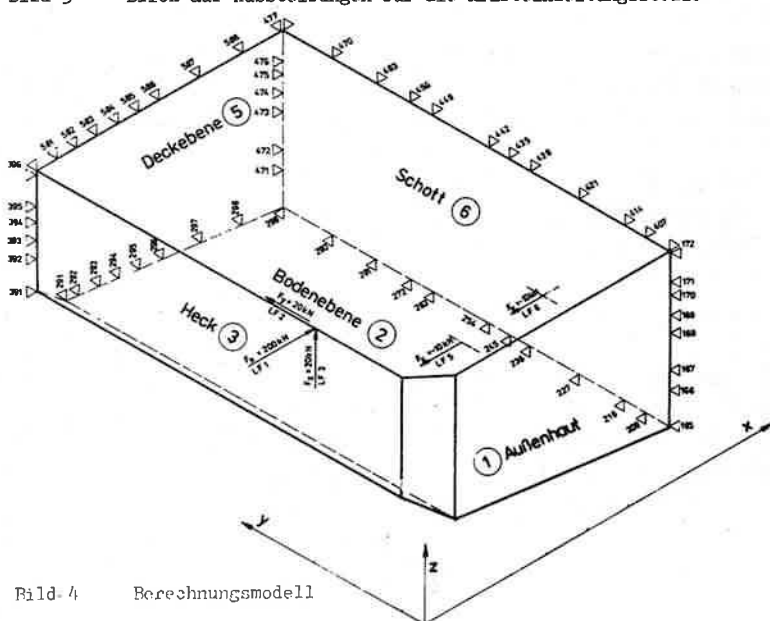


Bild-4 Berechnungsmodell

Für die Messung der Kräfte in den einzelnen Komponenten wäre es erforderlich gewesen, die Kupplung durch eine 3-Komponentenwaage zu ersetzen. Eine derartige Meßhilfe stand nicht zur Verfügung. Da bekannt war, daß Horizontalkräfte größer als 1000 kN zu erwarten waren, haben die damit zu erwartende Baugröße und alle daraus resultierenden Folgen die Entwicklung und den Bau einer 3-Komponentenwaage ausgeschlossen. Deshalb wurde eine Verknüpfung von statischer Berechnung und Messung als Lösungsweg für die Ermittlung der drei Kraftkomponenten gewählt. Ausgangspunkt dafür war, daß die Horizontalkraft $+ F_x$ und die Seilkräfte zu jedem Zeitpunkt t_p direkt gemessen werden können. Weiterhin ist es mit der Finite-Element-Methode möglich, in definierten Punkten den Dehnungszustand analytisch zu bestimmen. Infolge der doch recht komplizierten Bauweise (Bild 2 und Bild 3) kann der Festigkeitsnachweis an der Krafteinleitungsstelle ohnehin nur mit der Finite-Element-Methode geführt werden. Das gab letztlich den Ausschlag für den eingeschlagenen Weg. Der Festigkeitsnachweis wurde einmal mit Einheitskräften zur Vorbereitung der Messung geführt. Nach Ermittlung der Kraftkomponenten wurden dann lediglich die Lastvielfachen der Einheitskräfte eingeführt und damit der endgültige Nachweis geführt. Dieses Verfahren ist in der Statik durchaus geläufig, besonders beim Einsatz von elektronischer Rechentechnik.

Bild 4 zeigt das Berechnungsmodell. Es wurde nicht das gesamte Schiff berechnet, sondern nur ein halbes Achterpiek. Hierzu diente das Verfahren von Symmetrie und Antimetrie. Die Struktur wurde mit

- 659 Knoten,
- 735 Scheibenelementen,
- 369 Stäben, davon 232 außermittig angeschlossen,

beschrieben.

Da jede Kraftrichtung und die Seilkräfte als eigene Lastfälle behandelt wurden, waren 4 Lastfälle mit 2 eigenständigen Berechnungen (Symmetrie und Antimetrie) und anschließender Überlagerung der Ergebnisse erforderlich. Als Kernspeichergröße wurden 3000 kByte benötigt.

Die so gewonnenen Ergebnisse sind auf mögliche Meßstellen untersucht worden. Da an keiner Stelle eine Kraftrichtung separat auftrat, wurde in der weiteren Bearbeitung von folgenden Bedingungen bei der Auswahl der Meßstellen ausgegangen:

- deutliche Unterschiede in den Dehnungsunterschieden und der Richtung der Hauptdehnung in den einzelnen Lastfällen;
- eine ungestörte Fläche, an denen die Dehnmeßstreifen installiert werden können;
- kein Einfluß von nichterfaßbaren Spannungen, wie Kerbwirkung aus Schrittschweißung, Eigenspannungen u. ä.

Für eine einfachere Auswertung wurden nur Scheibenelemente für die Messung vorgesehen. An Hand der Rechenergebnisse und der Gegebenheiten am Schiffskörper konnten 4 Scheibenelemente für die Messung selektiert werden. Diese Elemente, die im Durchschnitt 250 x 450 mm groß waren, wurden in jeweils 16 gleichgroße Elemente unterteilt und als Belastung die Differenz der Knotenverformung je Lastfall auf den Randknoten aufgesetzt und damit die Spannungen in Elementmitte errechnet. Die hierfür erforderliche Aufbereitung der Knotenverschiebungen nimmt einen erheblichen Umfang bei 16 Randknoten und 4 Lastfällen ein. Dieser Aufwand ist aber erforderlich, will man die Rechenergebnisse mit Meßergebnissen vergleichen bzw. sie in die Auswertung der Messungen einbeziehen. Die so ausgewählten Elemente wurden mit Delta-Rosetten (Bild 5) $3 \times 120^\circ$ ausgestattet.

Mit diesen Vorarbeiten konnten die nachfolgend genannten Meßstellen eingerichtet werden:

Meßglied	Meßergebnis
Bolzen Bb und Stb	Zugkraft im Bolzen
Seilzugglied Bb, Stb und diagonal	dynamische Seilkraft, ohne Vorspannung
4 Dehnmeßstellen	max σ , min σ und Lage der Hauptspannung

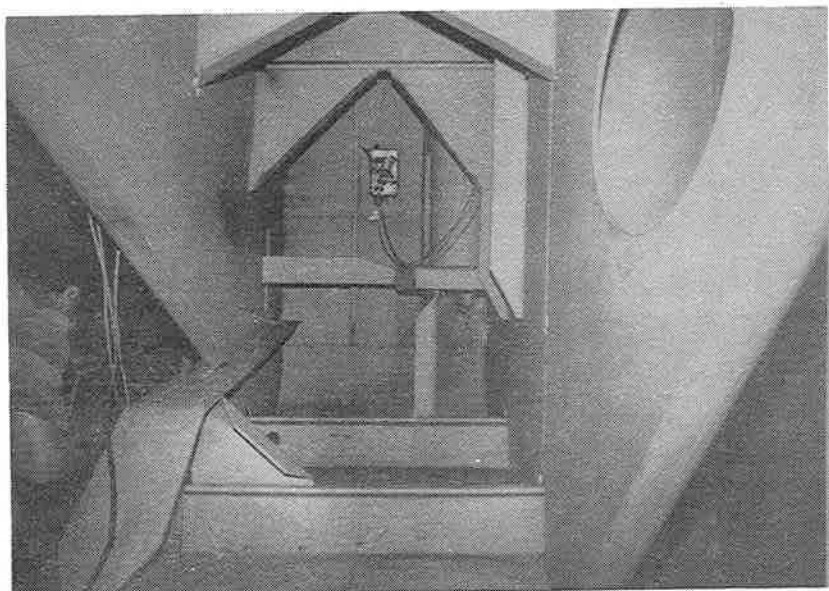


Bild 5 Meßstelle am Heckspiegel

Registriertechnik:

- 2 Lichtschreiber 12 LS-1 für Kurzzeitmessungen
- 1 Meßmagnetbandgerät EAM 500 für Langzeitmessungen
- 2 Trägerfrequenzverstärker N 2302
- 2 Universalmeßgeräte UM 131

Die Meßtechnik wurde in der Achterspiek untergebracht und die Stromversorgung erfolgte vom Schubschiff aus.

Es konnte nur die Krafttrichtung F_x , wie in Bild 6 dargestellt, geeicht werden. Nur bei 3 Dehnmessstellen ergab sich zwischen der Rechnung und der Messung eine hinreichende Übereinstimmung.

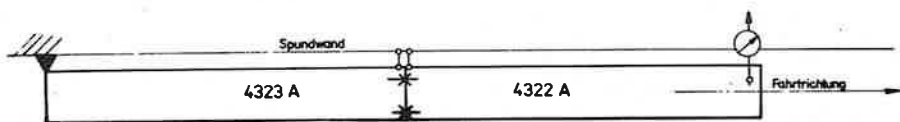


Bild 6 Anordnung zum Erfassen der Krafttrichtung F_x

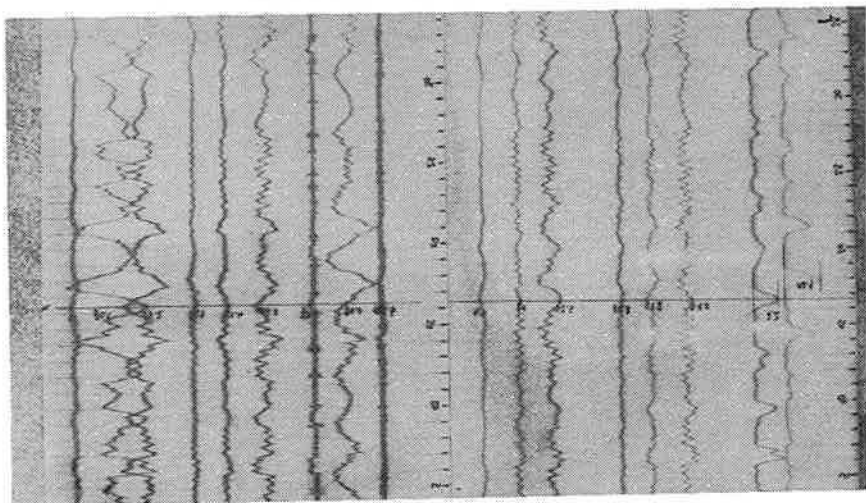


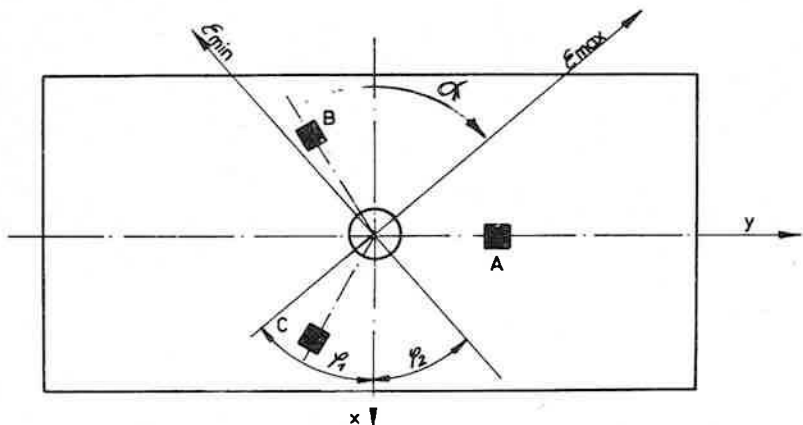
Bild 7 Simultanausschnitt

Meßstelle	FFM-Rechnung			Messung		
	max σ	min σ	α	max σ	min σ	α
Heckspiegel	0,14	- 0,05	141	0,17	- 0,07	150
Deck	1,83	- 0,51	179	2,33	- 0,6	176
Aussteifung	0,26	- 0,06	34	0,26	+ 0,07	54

Spannung in kN/cm^2 , α Winkel zwischen max σ und Bezugsdehnmessstreifen in grad .

Ermittlung der Kräfte in den einzelnen Richtungen:

1. Die Meßschriebe wurden simultan ausgewertet (Bild 7). Zum Zeitpunkt t_1 liegen die Bolzenkraft F_x und die Hauptspannungen an den Scheibenelementen vor. Die dynamischen Kräfte in den Seilen hatten keine Auswirkung auf die Meßstellen.
2. Die Hauptspannungen in den Scheibenelementen aus der Eichung für den Anteil der Bolzenkraft F_x wurden nach den Formeln 1 bis 11 in achsenbezogene Spannungen umgerechnet.



Antragung der Winkel aus Rechnung (der Winkel wird stets an der x-Achse angetragen)

Lage der Hauptachsen

Bild 8 Winkelbeziehungen zwischen Meßauswertung und Rechnung

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y \quad (1)$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2 \sqrt{\frac{1}{4} (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2)$$

$$\tan 2 \varphi_1 = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y)}{\tau_{xy}} \quad (3)$$

Der Winkel φ_1 wird von $\max \sigma$ und der x-Achse des Elementes gebildet, dazu steht φ_2 im Winkel von 90° .

Der Zusammenhang der Winkel φ_1 , φ_2 und α ist in Bild 8 dargestellt.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2 \sqrt{(\tau_{xy} \tan 2 \varphi_1)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2 \sqrt{\tan^2 2 \varphi_1 + 1}} \quad (5)$$

$$\text{mit } \tan^2 2 \varphi_1 + 1 = \frac{1}{\cos^2 2 \varphi_1} \quad (6)$$

$$\text{folgt } \tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2 \varphi_1 \quad (7)$$

$$\text{und mit } \tan \varphi_1 = - \frac{\sigma_x - \sigma_1}{\tau_{xy}} \quad (8)$$

$$\text{und } \tan \varphi_2 = - \frac{\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_2} \quad (9)$$

folgen nunmehr

$$\sigma_x = \sigma_1 - \tau_{xy} \tan \varphi_1 \quad (10)$$

$$\sigma_y = \sigma_2 - \frac{\tau_{xy}}{\tan \varphi_2} \quad (11)$$

Für die Zugkraft F_x wurden die Spannungsanteile nach Formel 7, 10 und 11 berechnet und in die weitere Untersuchung mit dem Verhältnis

$$n_1 = \frac{F_x (t_1)}{F_x (\text{Biehung})} \quad (12)$$

eingeführt.

Bei den nachfolgenden Betrachtungen wurde davon ausgegangen, daß während der Messungen keine plastischen Verformungen aufgetreten sind und somit das Superpositionsprinzip voll anwendbar ist. Damit gilt für die Hauptspannung an der Meßstelle

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \sum n_1 (\sigma_{x1} - \sigma_{y1}) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left[\sum n_1 (\sigma_{x1} - \sigma_{y1}) \right]^2 + \left(\sum n_1 \tau_{xy1} \right)^2} \quad (13)$$

Für $i = 1, 2, 3$ steht der entsprechende Lastfall

Hierbei ist der Lastfall 2 der Querkraft F_y und Lastfall 3 der Vertikalkraft F_z zugeordnet. Die Spannungsanteile der Lastfälle 2 und 3 sind der EDV-Rechnung entnommen worden, bei der Einheitskräfte von je 20 kN angesetzt waren, so daß die auftretenden Kräfte zu

$$F_y = n_2 \cdot 20 \text{ kN} \quad (14)$$

$$F_z = n_3 \cdot 20 \text{ kN} \quad (15)$$

errechnet werden können. Für die Ermittlung der Lastvielfachen fand folgendes Gleichungssystem Anwendung:

$$\text{Mit } \tan \varphi_1 = - \frac{\sum n_i \sigma_{x i} - \sigma_1}{\sum n_i \tau_{x y i}} \quad (16)$$

$$\tan \varphi_2 = - \frac{\sum n_i \tau_{x y i}}{\sum n_i \sigma_{y i} - \sigma_2} \quad (17)$$

folgt nach einigen Zwischenrechnungen

$$n_2 (\tau_{xy2} \tan \varphi_1 + \sigma_{x2}) + n_3 (\tau_{xy3} \tan \varphi_1 - \sigma_{x3}) = 1 - n_1 (\tan \varphi_1 + \sigma_{x1}) \quad (18)$$

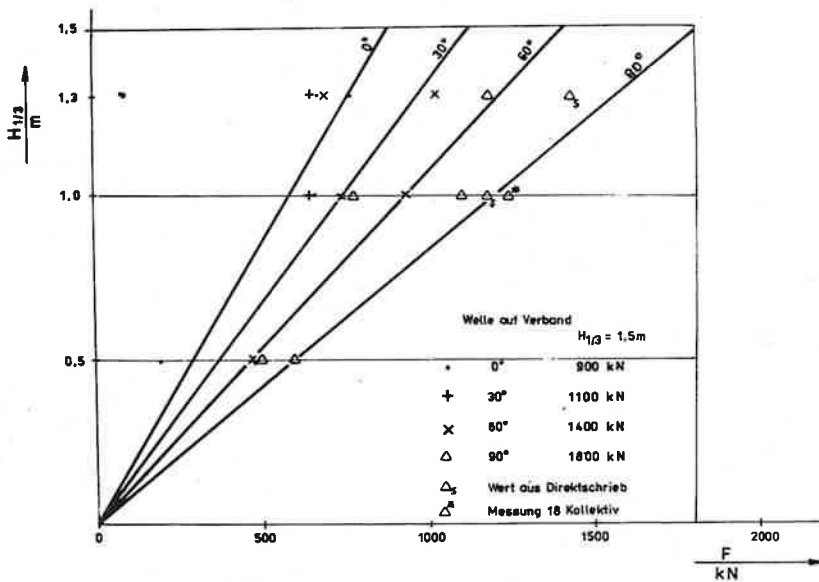
- und

$$n_2 \sigma_{y2} + n_3 \sigma_{y3} + \frac{n_2 \tau_{xy2}}{\tan \varphi_1} + \frac{n_3 \tau_{xy3}}{\tan \varphi_2} = \sigma_2 - n_1 (\sigma_{y1} + \frac{\tau_{xy1}}{\tan \varphi_2}) \quad (19)$$

Es ist zweckmäßig, dieses Gleichungssystem numerisch zu lösen. Hierfür bietet sich die Matrizenrechnung an:

n_2	n_3	
$\tau_{xy2} \tan \varphi_1 + \sigma_{x2}$	$\tau_{xy3} \tan \varphi_1 + \sigma_{x3}$	$\sigma_1 - n_1 (\tau_{xy} \tan \varphi_1 + \sigma_{x1})$
$\sigma_{y2} + \frac{\tau_{xy2}}{\tan \varphi_2}$	$\sigma_{y3} + \frac{\tau_{xy3}}{\tan \varphi_2}$	$\sigma_2 - n_1 \sigma_{y1} + \frac{\tau_{xy1}}{\tan \varphi_2}$

(20)



Bolzenkraft als Funktion der Wellenhöhe

Bild 9 Längskraftverlauf F_x

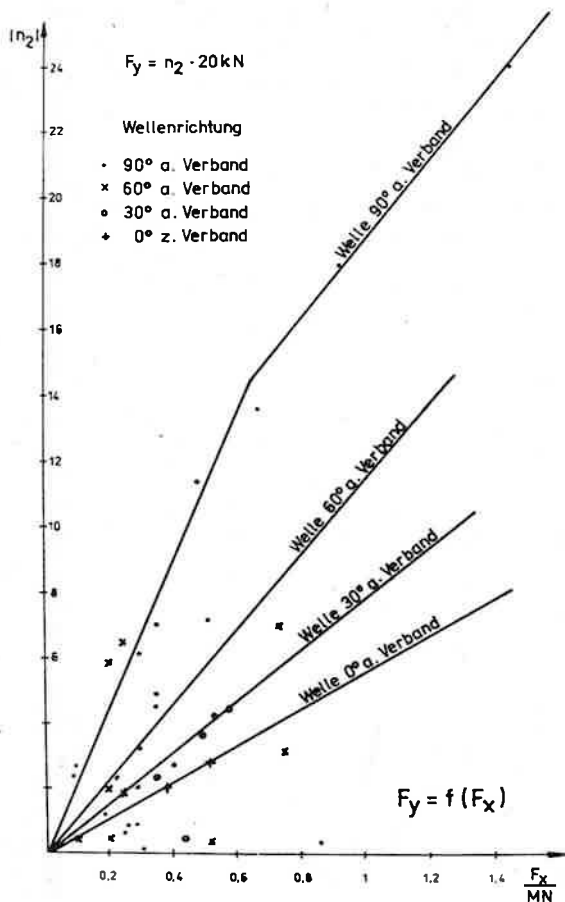


Bild 10 Querkraft F_y

Die Ergebnisse für die Bolzenzugkraft F_x sind in Bild 9, für die Querkraft F_y in Bild 10 und die Vertikalkraft F_z in Bild 11 dargestellt.

Die breite Streuung der Werte bei den vorliegenden Belastungen resultiert aus Meßfehlern, die bei Naturmessungen durchaus bis zu 30 % betragen können. Bei sehr kleinen Belastungen können die Fehler diese Grenze weitaus über-

schreiten. Auch sei hier darauf hingewiesen, daß die Finite-Element-Methode eine Näherungsrechnung ist und bei der Digitalisierung der Konstruktion Kompromisse eingegangen werden müssen. Die Plausibilität der Ergebnisse konnte nur für die Querkraft F_y durch folgende Näherung nachgewiesen werden:

Mit $F_x = 0$ muß die nicht meßbare Druckkraft gleich der gemessenen Zugkraft im benachbarten Bolzen sein. Die Vortriebskraft ist bei großen Kuppelkräften vernachlässigbar klein. Damit läßt sich das Kuppelmoment M_z zu

$$M_z = F_x \cdot a \quad (21)$$

$a = 6,8 \text{ m}$ Abstand der Bolzen

berechnen.

Nimmt man die äußere Belastung auf den Prahm als in Fahrtrichtung fallende Trapezlast an, so folgen aus

$$\text{Gleichlast} \quad F_y = q \cdot l \quad (22)$$

$$M_z = \frac{q \cdot l^2}{2} \quad \text{und} \quad (23)$$

$$\text{Dreieckslast} \quad F_y = \frac{q_a \cdot l}{2} \quad (24)$$

$$M_z = \frac{q_a \cdot l^2}{6} \quad (25)$$

$$\text{für die Trapezlast} \quad F_y = \frac{1}{2} (2q + q_a) \quad (26)$$

$$M_z = \frac{1}{6} (3q + q_a) \quad (27)$$

Hier soll noch bemerkt werden, daß konstruktionsbedingt die Kraft F_y nur an einer Seite wirkt. Die Meßwerte für F_y und M_z eingesetzt, ergeben die Werte für q und q_a . Die Auswertung zeigte, daß $q = 0$ und somit eine reine Dreiecksbelastung vorliegt. Weiterhin ist nach den hier dargestellten Zusammenhängen ersichtlich, daß Längskräfte in den Bolzen und Querkräfte korrelieren. Das zeigen die Bilder 9 und 10.

An der Krafteinleitungsstelle und für den Bolzen selbst wurde ein Betriebsfestigkeitsnachweis geführt. Es gilt:

- Die Verteilung der Maxima und Minima folgt einer Gauß'schen Normalverteilung.
- Die Kollektive liegen symmetrisch zum Mittelwert.

$$F_z = n_3 \cdot 20 \text{ kN}$$

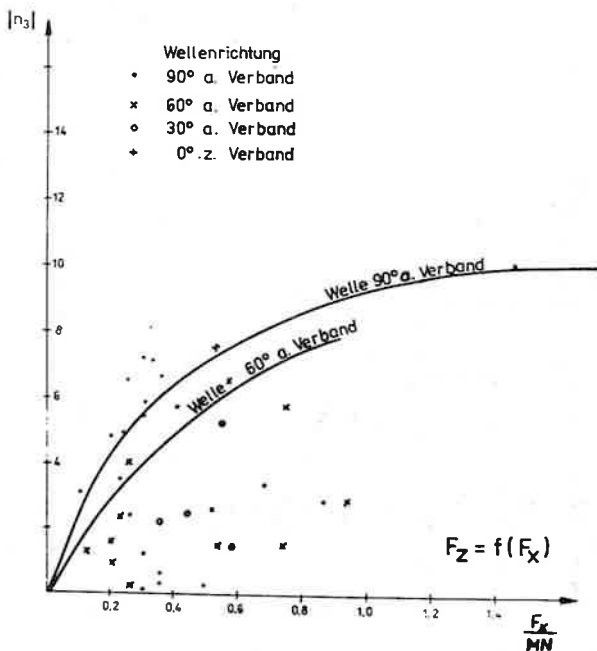


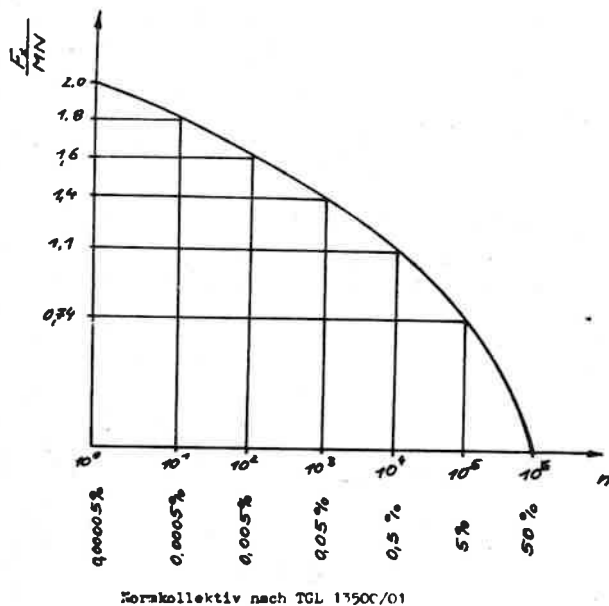
Bild 11 Vertikalkraftverlauf n_3

- Der Kollektivumfang repräsentiert 10^6 Schwingenspiele.
- Das Mischkollektiv setzt sich aus gleichen Anteilen von 0,5 m; 1,0 m und 30° , 60° und 90° zum Verband zusammen.
- Das Mischkollektiv wird bis zu einer Wahrscheinlichkeit $p = 99,99995\%$ extrapoliert und als Normkollektiv (siehe Bild 12) in die Berechnung eingeführt.
- Die Form der Lastkollektive für die Kräfte F_y und F_z gleicht der Bolzenkraft F_x .

Der Kollektivumfang nach TGL 13500/01 wurde mit

$$6 \cdot 10^5 \leq N \leq 2 \cdot 10^6$$

eingeschätzt. Daraus folgen



Normkollektiv nach TGL 13500/01

Bild 12 Normkollektiv der Bolzenkraft F_x

- Belastungsgruppe 3 und Kerbfall 5
- zul $\sigma_{be} = 77 \text{ N/mm}^2$
- zul $\tau_{be} = 108 \text{ N/mm}^2$
- Sicherheitsfaktor $\nu_N = 1,07$

Der Betriebsfestigkeitsnachweis für den Schiffskörper ist nach Formel 7 der TGL 13500/01 und für den Bolzen nach den Formeln der TGL 19340/01 ... 03 geführt worden.

Im Ergebnis dieser Nachweise wurde der Antrag auf Zulassung des Tandemverbandes im Fahrtgebiet ECE 1 bis zu einer Wellenhöhe von 1,5 m, das entspricht Seegangsstärke 5 nach der 9teiligen Skala gestellt. Die Wellenhöhe wird nach /8/ in dem Fahrtgebiet aus den nachfolgend genannten Windstärken und -richtungen gebildet:

Windrichtung	Vierendelrinne-Rostock	Rügen-Ostküste
N	5 Bft	5 Bft
NO	5 Bft	4 Bft
O	6 Bft	4 Bft
SO	7 Bft	5 Bft
S	7 Bft	6 Bft
SW	6 Bft	6 Bft
W	5 Bft	6 Bft
NW	5 Bft	6 Bft

Bei Fahrten unter 0° Celsius ist eine Reduzierung der Einsatzgrenze erforderlich, da eine Vereisung der Ankerwinden und der Gangbereiche durch Spritzwasser eintritt.

Das Fahrverhalten des Verbandes war bei allen Meßfahrten gekennzeichnet durch:

- keine Neigung zum Gieren,
- geringe Stampfbewegungen,
- ruhiger Rollen bei schräg oder quer anlaufender See.



Bild 13 Tandemverband im Seegang bei 1,2 m hohen Wellen

Bei allen Wellenhöhen und -richtungen konnte der Verband sicher manövriert werden. Dabei war kein Einfluß aus der unterschiedlichen Abladung (gefahren wurde mit 1,83 m und 1,45 m Abladung) festzustellen.

Durch die Verknüpfung von Rechnung und Messung ist es gelungen, relativ leicht die Kraftkomponenten F_x , F_y und F_z zu ermitteln. Die dabei erreich-

ten Streubänder resultieren aus der geringen Anzahl Meßfahrten, die quasi unter Produktionsbedingungen durchgeführt wurden. Keine Meßfahrt konnte wiederholt werden. Trotzdem sind die erzielten Ergebnisse ausreichend für einen Betriebsfestigkeitsnachweis und damit zur Festlegung der einleitend genannten Einsatzgrenzen. Die dargestellten Ergebnisse gelten nur für die untersuchte Verbandsformation und sind nicht übertragbar. Das Verfahren kann aber auf analoge Probleme übertragen werden.

Literatur

- /1/ DUDSZUS;
DANKWARDT: Schiffstechnik, Einführung und Grundbegriffe
VEB Verlag Technik, Berlin 1982
- /2/ GOULENBECK, J.: Zur Beanspruchung parallel gekoppelter Schiffe
im natürlichen Seegang
Diss. A, TH Karlsruhe
- /3/ GERTH, L. und
Mitarbeiter: Ermittlung der Grenzbedingungen für den Tandem-
verband GSP 65.1 im Küstenverkehr - Fahrtbereich
DSRK - K III/ ECE 1
VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser-
und Grundbau 1985
unveröffentlichter Bericht
- /4/ Gesetzblattsonderdruck Nr. 824 vom 27. 11. 1975
in Verfügungen des Seefahrtsamtes der DDR, Teil I
- Anordnungen über die Zulassung von Fahrzeugen
zur Seefahrt
- /5/ DDR-Schiffs-Revision und -Klassifikation
Erste Änderungsmitteilung zu den Vorschriften
für die Klassifikation und den Bau von Binnen-
schiffen
Teil IV Stabilität und Freibord
Ausgabe 1983
- /6/ Handbuch der Nord- und Ostsee
Band II 1983
Seehydrographischer Dienst der DDR, Rostock 1982
- /7/ SPEER:
(Herausgeber) Experimentelle Spannungsanalyse, Modellstatik
BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig
1977
- /8/ Atlas zur Ermittlung der Wellenhöhen in der süd-
lichen Ostsee
Seehydrographischer Dienst der DDR, Rostock 1979

Fotos: Gerth 4, Wolf 1 (Bild 7) Reproduktionen: Wolf